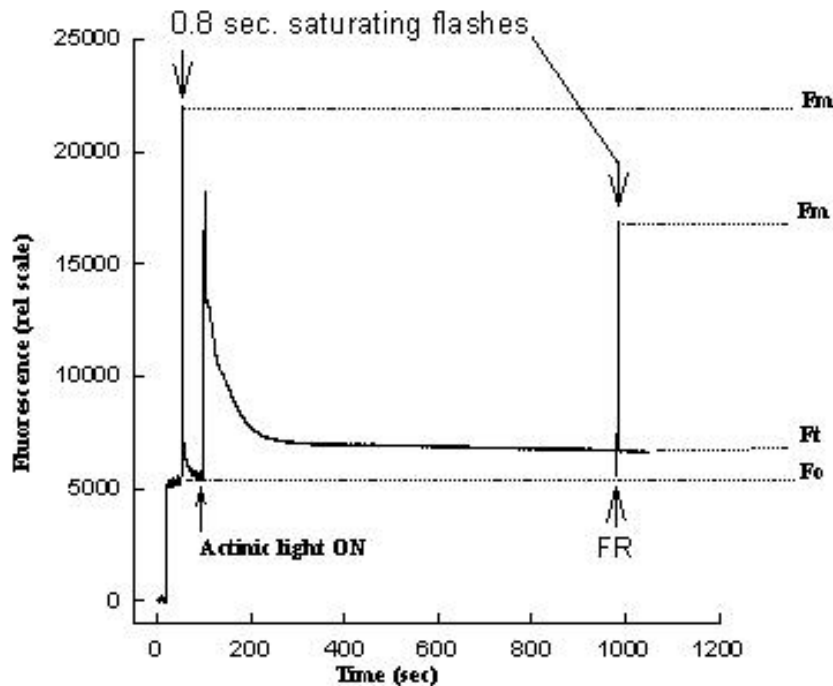
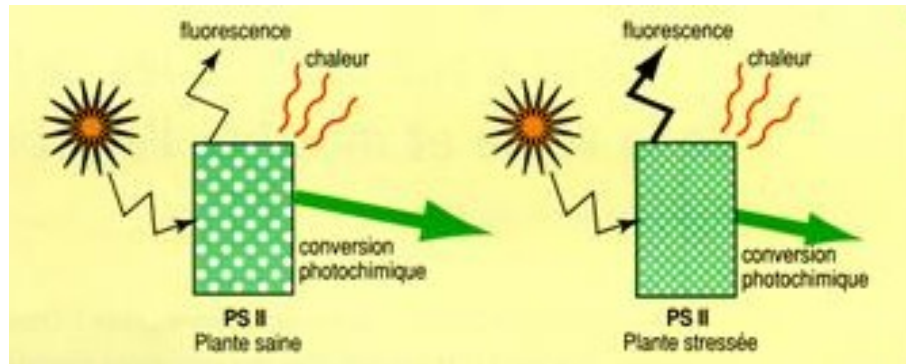


# **Potentiel de la fluorescence rapide comme indicateur de stress hydrique**

## Concept de base :



La lumière absorbée par l'appareil photosynthétique n'est pas totalement transformée en énergie chimique. Une partie est perdue sous forme de chaleur et de fluorescence (3-5%).

Si l'on éclaire alors la plante avec un flash de lumière sursaturante (1s) :

→ Réduction des accepteurs d'électrons.

→ Centres réactionnels fermés, ils ne peuvent plus faire de photochimie : on mesure **Fm**. (fluor maximum)

Cette observation, **basée sur 2 points extrêmes (F0, Fm)**, permet le calcul de **Fv/Fm** ( $= (Fm - F0) / Fm$ ), efficacité du PSII à la lumière.

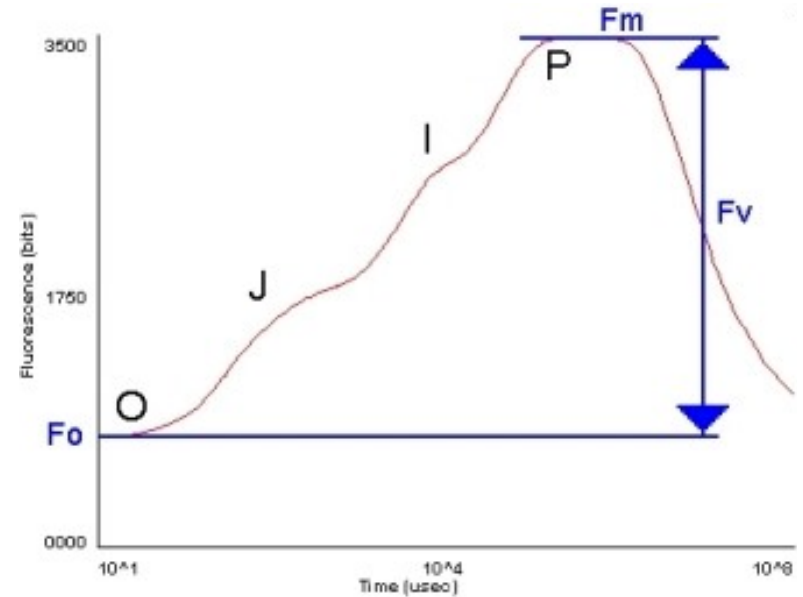
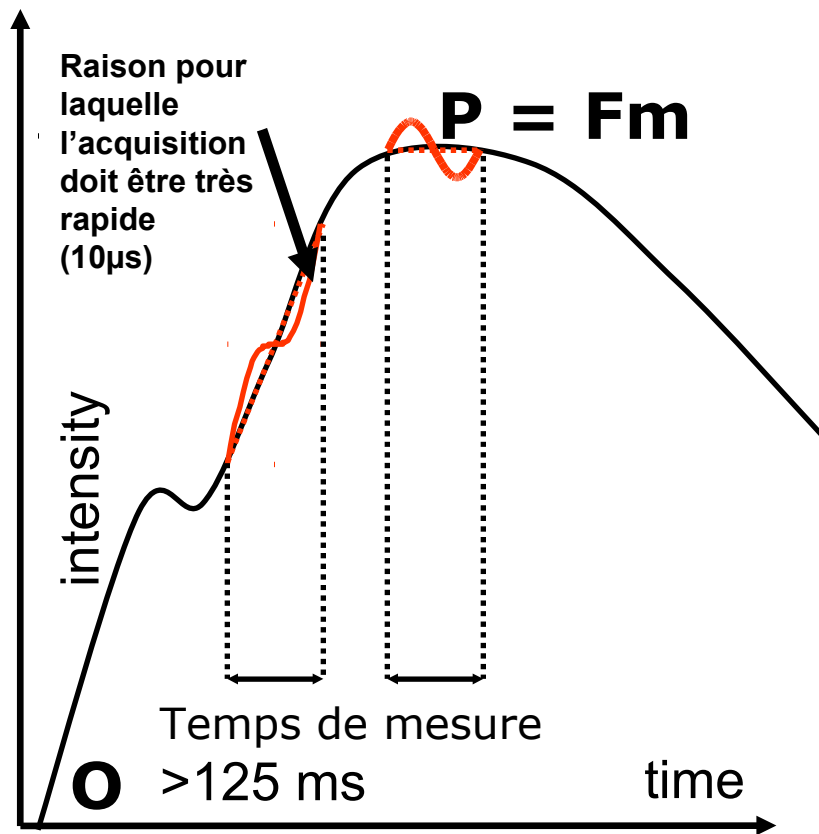
$Fv/Fm \text{ stress} < Fv/Fm \text{ témoin}$

→ Paramètre très sensible aux stress thermiques (chaud, froid), photo-inhibition, herbicides, mais **très peu au stress hydrique**.

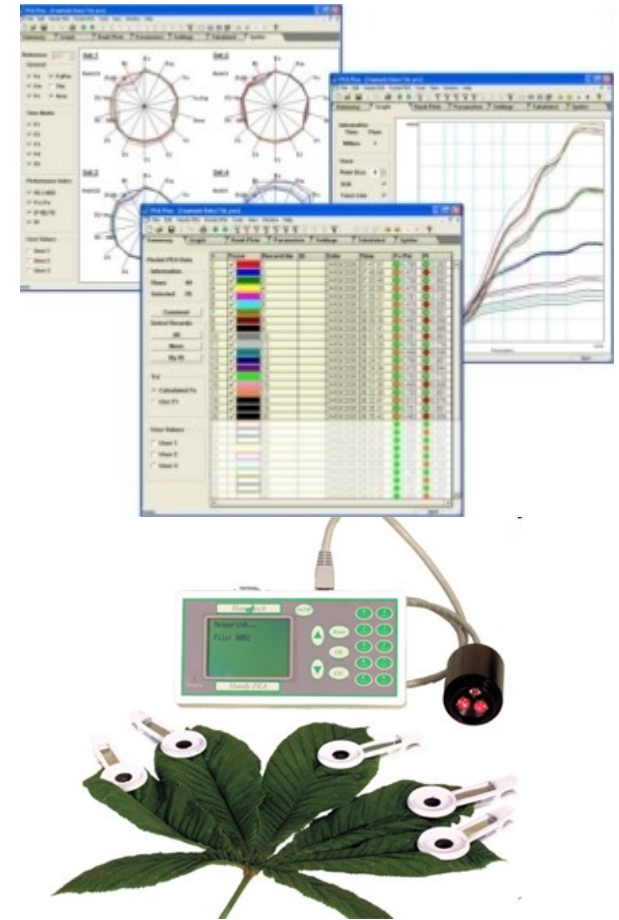
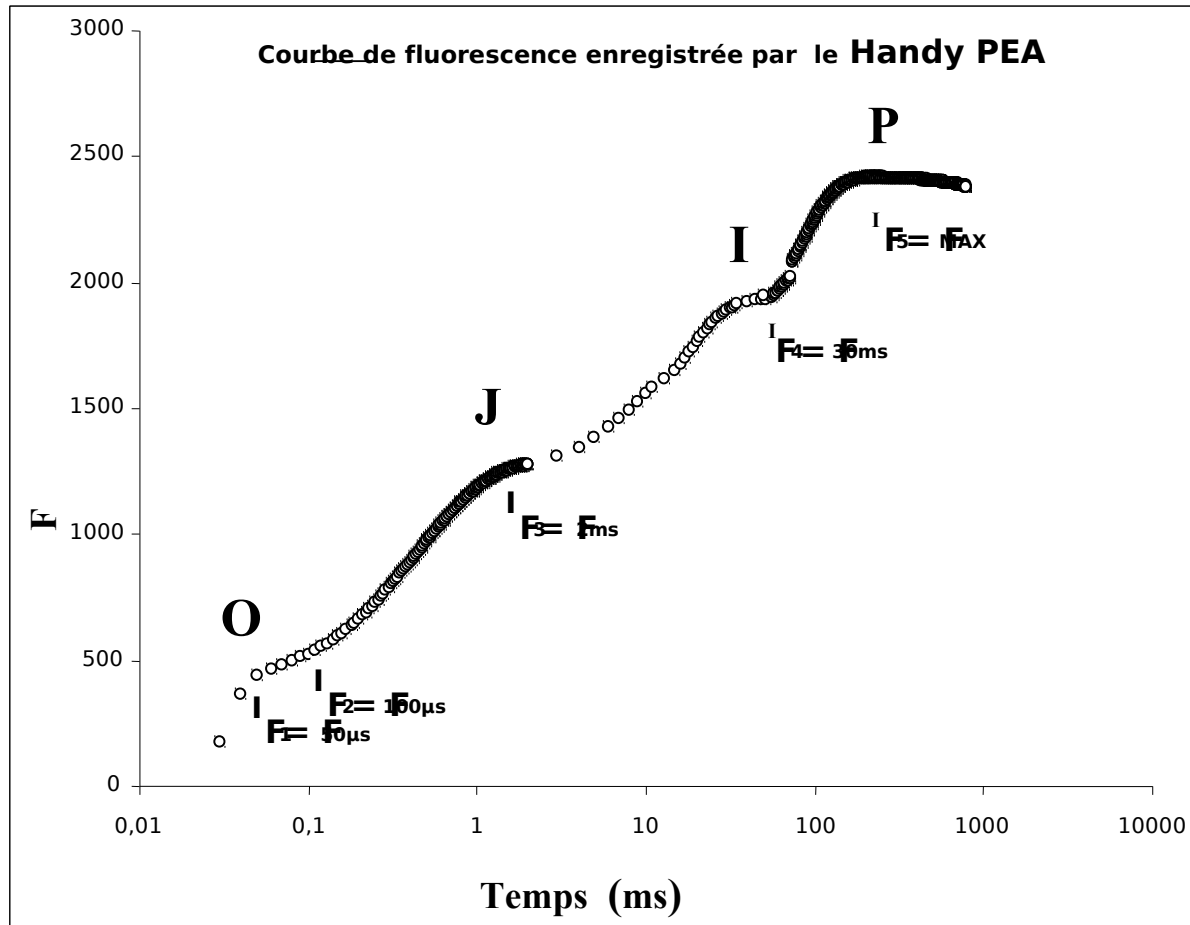
## La fluorescence rapide :

Lors d'un stress hydrique :

→ **La cinétique pour atteindre  $F_m$  varie beaucoup**, d'où l'intérêt de pouvoir accéder à une courbe en haute résolution, **polyphasique** (dite « OJIP » )



Le **JIP-Test** (Strasser), est un **ensemble de paramètres calculés et extraits de cette cinétique rapide**.



## JIP-Test :

Certains points remarquables comme ( $F_o$ ,  $F_M$ ,  $tF_m$ ,  $F_{50\mu s}$ ,  $F_{100\mu s}$ ,  $F_{300\mu s}$ ,  $F_J$ ,  $F_I$ ) mènent au calcul et à la dérivation de tout une gamme de nouveaux paramètres qui expriment le rendement de la photosynthèse et plus précisément l'efficacité d'utilisation de la lumière dans les réactions photochimiques primaires.

# **Paramètres calculés du JIP Test :**

## Technical parameters

- Fluorescence intensity at 50  $\mu\text{s}$  (assumed to be  $F_0$ )
- Fluorescence intensity at 100  $\mu\text{s}$ , 300  $\mu\text{s}$ , 2 ms, and 30 ms
- Maximal fluorescence intensity
- Variable fluorescence
- Slope at the origin of the normalized fluorescence rise [= the relative rate of  $Q_A$  reduction ( $dQ_A^-/dt_0$  per  $Q_{A\text{total}}$ )]
- Relative variable fluorescence at 2 ms
- Relative area between  $F_M$  and  $F_t$  (= pool size of electron carriers)
- Turnover number of  $Q_A$  reduction and re-oxidation

## The specific fluxes expressed per reaction centre (RC)

- Calculated absorption per RC
- Calculated trapping at time zero, per RC
- Heat dissipation at time zero, per RC
- Electron transport at time zero, per RC

## The phenomenological fluxes expressed per cross section of the leaf tissue (CS)

- Absorption per CS
- Trapping at time zero, per CS
- Dissipation at time zero, per CS
- Electron transport at time zero, per CS
- Density of reaction centers per cross-section

## The yields (or fluxes ratios)

- Maximum quantum yield of primary photochemistry
- Maximum quantum yield of non photochemical deexcitation
- Probability that a trapped exciton moves an electron further than  $Q_A^-$
- Probability that an absorbed photon moves an electron further than  $Q_A^-$

## “Vitality” Indexes

- Density of RCs per chlorophyll
- Conformation term for primary photochemistry
- Conformation term for the thermal reactions (non light-depending reaction beyond  $Q_A^-$ )
- Performance Index

$$F_0 = F_1$$

$$F_2, F_3, F_4, \text{ and } F_5$$

$$F_M$$

$$F_V = F_M - F_0$$

$$dV/dt_0 = M_0 = (F_{300\mu s} - F_0)/(F_M - F_0)$$

$$V_J = (F_{2ms} - F_0)/(F_M - F_0)$$

$$S_m = \int_{F_0}^{F_M} (F_M - F_t)(F_M - F_0) dt$$

$$N = (S_m)(M_0/V_J)$$

$$ABS^b/RC = (M_0/V_J)/(1 - F_0/F_M)$$

$$TR_o/RC = M_0/V_J = (ABS/RC)\varphi_{P_0}$$

$$DI_o/RC = (ABS/RC) - (TR_o/RC)$$

$$ET_o/RC = (TR_o/RC)\psi_o$$

$$ABS/CS \text{ measured by absorption techniques or approximated by } F_0 \text{ or } F_M$$

$$TR_o/CS = (TR_o/ABS)/(ABS/CS)$$

$$DI_o/CS = (ABS/CS) - (TR_o/CS)$$

$$ET_o/CS = (ET_o/RC)(RC/CS)$$

$$RC/CS = (ABS/CS)(RC/ABS)$$

$$\varphi_{P_0} = TR_o/ABS = (F_M - F_0)/F_M = 1 - (F_0/F_M)$$

$$\varphi_{D_0} = DI_o/ABS = 1 - \varphi_{P_0} = F_0/F_M$$

$$\psi_o = ET_o/TR_o = 1 - V_J$$

$$\varphi_{E_0} = \varphi_{P_0}\psi_o = (TR_o/ABS)(ET_o/TR_o) = ET_o/ABS = (1 - F_0/F_M)(1 - V_J)$$

$$RC/ABS = (RC/TR_o)(TR_o/ABS) = (V_J/M_0)(F_V/F_M)$$

$$[\varphi_{P_0}/(1 - \varphi_{P_0})] = TR_o/DI_o = k_P/k_N = F_V/F_0$$

$$[\psi_o/(1 - \psi_o)] = ET_o/(dQ_A^-/dt_0)$$

$$PI_{ABS} = [RC/ABS][\varphi_{P_0}/(1 - \varphi_{P_0})][\psi_o/(1 - \psi_o)]$$

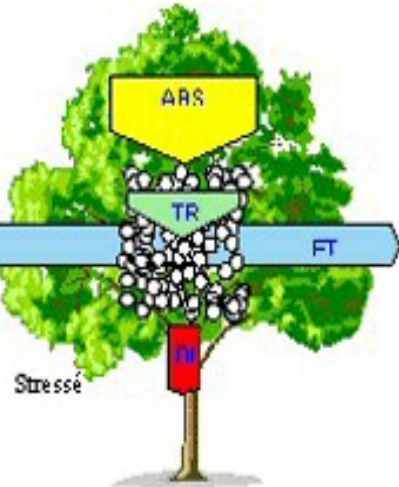
<sup>a</sup> After Strasser and Tsimilli-Michael (2001).

<sup>b</sup> ABS is proportional to the concentration of antenna chlorophyll  $Chl_{ant}$ .

## Intérêt de la fluorescence rapide :

- En complément d'analyse des mesures d'échanges gazeux..)

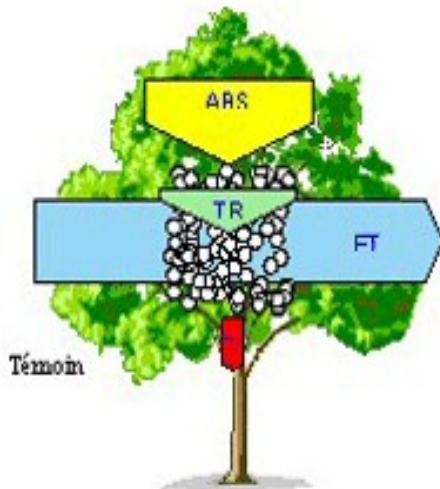
Par ces paramètres, les trois étapes fondamentales de la photosynthèse (absorption (ABS), piégeage (TR) et transfert d'électrons (ET)) peuvent être quantifiées.



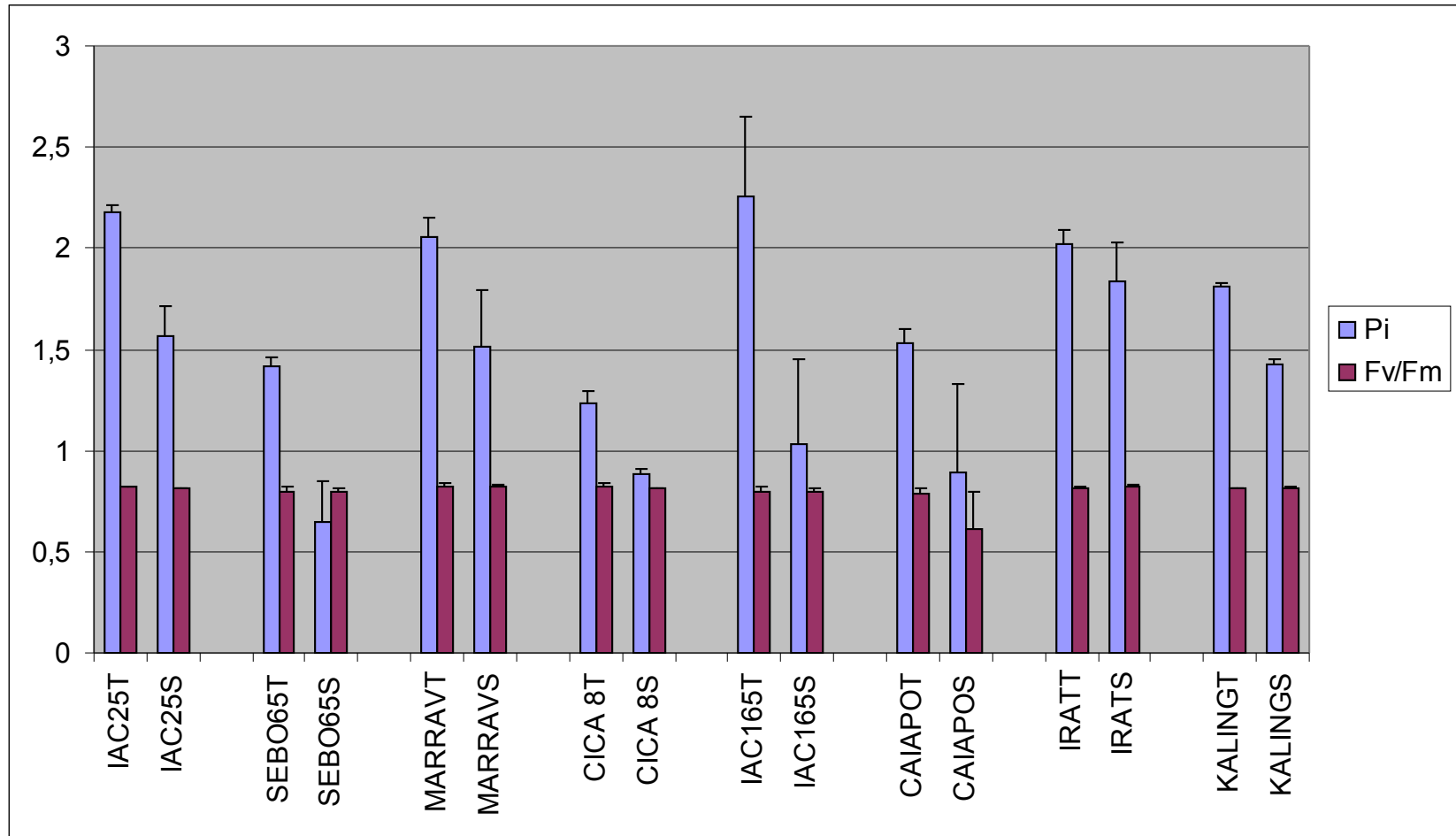
*Par exemple, une plante stressée présente une dissipation élevée et une réduction du transfert d'électrons mais peut parfois présenter une augmentation de l'absorption de lumière (densité des antennes, tailles...) dans le but de compenser les détériorations internes au niveau des centres réactionnels.*

- Un indice global (**PI ou performance index**) combine le rendement des différentes étapes de ces réactions (absorption, piégeage et ET)

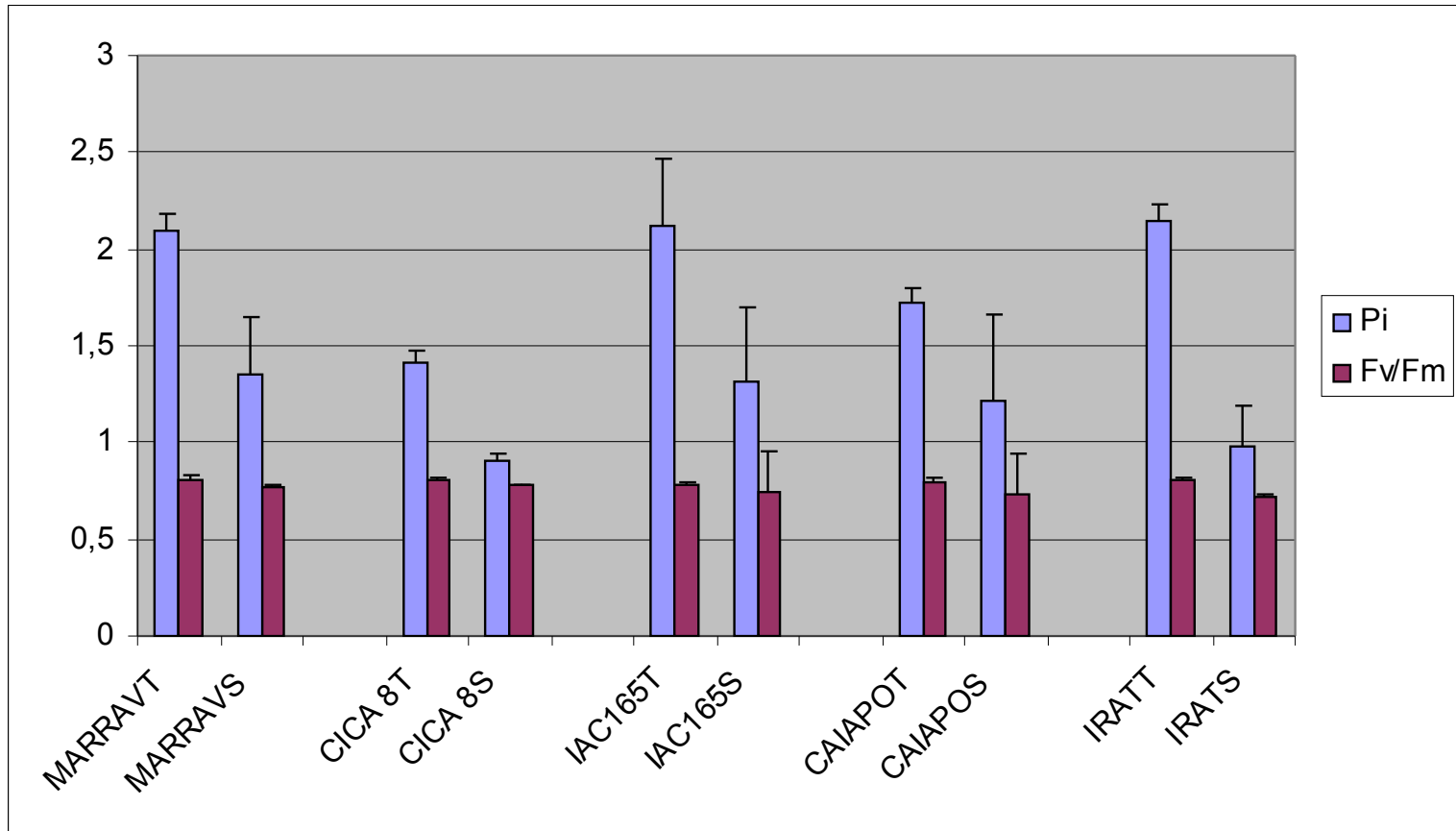
Celui-ci (parmis d'autres..) s'avère **sensible au stress hydrique** chez certaines espèces.



**Test sensibilité du Pi sur riz sur essai combine Thermo IR / Fluorescence :**  
(avec stress hydrique peu marqué.. 3 réps)



Fv/Fm pas affecté par le stress hydrique, mais Pi apparemment plus sensible.



Sa rapidité est un avantage dans la mise au point d'un diagnostic car elle permettra un plus grand nombre de répétitions, augmentant dès lors la fiabilité.



## **Proposition d'utilisation dans le cadre du phénotypage :**

### **Utilisation du DFI (*Drought Factor Index*, Strauss et al.2006) :**

Le DFI assigne le degré d'importance de la réduction de l'index de performance (PI) pendant une période donnée.

#### Exemple :

Pour un déficit hydrique de deux semaines, le DFI est calculé par la formule :

$$\text{DFI} = \log A + 2\log B$$

A est l'index de performance (PI) relatif au contrôle à la fin de la première semaine du déficit hydrique

B est l'index de performance relatif au contrôle à la fin de la deuxième semaine de déficit hydrique.

Le  $PI_{\text{redif}}$  = PI stress/PI contrôle.

Les variétés sensibles qui montrent la plus grande réduction de PI pendant les dernières étapes de stress auront également les valeurs les plus basses de DFI.

### **Avantages / Inconvénients :**

- Rapidité de la mesure (1s), mais disposition de clips 20mn auparavant (1/plante)
- Grands nombre de répétitions possible
- Possibilité de mesurer la nuit pour éviter l'attente des 20mn ? (Oui dans littérature+notice)  
→ **A tester si résultats affectés ou non**
- Effectuer un nouveau test sur riz avec dispositifs stats + vérifier corrélation PI / Pot.base et pot.max  
→ **A tester (cadre et lieu à définir, Adrao Bénin ?)**

## **Références sur le PI et DFI:**

- . Le Buu Thach , Alison Shapcott , Susanne Schmidt , Christa Critchley (2007). The OJIP fast fluorescence rise characterizes Graptophyllum species and their stress responses *Photosynth Res* 94:423–436
- . P.D.R. van Heerden, J.W. Swanepoel, G.H.J. Kruger (2007) Modulation of photosynthesis by drought in two desert scrub species exhibiting C3-mode CO2 assimilation *Environmental and Experimental Botany* 61 (2007) 124–136
- . Danilo Christen, Susan Schonmann, Mauro Jermini, Reto J. Strasser, Genevieve Defago (2007) Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by *in situ* chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. *Environmental and Experimental Botany* 60 (2007) 504–514
- . Cavender-Bares, J. and Bazzaz, F.A. 2004. From leaves to ecosystems: Using chlorophyll fluorescence to assess photosynthesis and plant function in ecological studies. *In* Chlorophyll fluorescence: a signature of photosynthesis. *Edited by* G.C. Papageorgiou and Govindjee. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam. pp. 737-755.
- . Adams III WW, Demmig-Adams B (2004) Chlorophyll fluorescence as a tool to monitor plant response to the environment. *In*: Papageorgiou G, Govindjee (eds) Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis. *Advances in photosynthesis and respiration*, vol 19. Springer, Dordrecht, pp 583–604